

# 某核电站橡胶膨胀节缺陷原因分析及处理

谢俊 马普东

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9876

**[摘要]** 某核电站大修时检查重要厂用水系统橡胶膨胀节发现多个橡胶膨胀节的内表面存在不同程度的裂纹现象,影响系统的安全稳定运行。针对裂纹问题,本文从产品设计选型、产品加工工艺、运行工况、老化等方面进行原因分析,分析产生裂纹的根本原因为产品设计存在橡胶搭接缺陷,同时部分橡胶膨胀节使用过程中实际拉伸量已超过最大允许值促成其缺陷的产生。在缺陷原因分析的基础上,提出了改进建议。

**[关键词]** 核电站; 橡胶膨胀节; 裂纹

**中图分类号:** TL48 **文献标识码:** A

## Analysis and Treatment of Defects in Rubber Expansion Joints in a Nuclear Power Plant

Jun Xie Pudong Ma

China Nuclear Power Operations Co., Ltd

**[Abstract]** During the overhaul of a nuclear power plant, it was found that multiple rubber expansion joints in the important plant water system had varying degrees of cracks on their inner surfaces, which affected the safe and stable operation of the system. In response to the issue of cracks, this article analyzes the reasons from the aspects of product design selection, product processing technology, operating conditions, aging, etc. The fundamental reason for the occurrence of cracks is the existence of rubber overlap defects in product design. At the same time, some rubber expansion joints have exceeded the maximum allowable tensile value during use, which has promoted the occurrence of defects. Based on the analysis of defect reasons, improvement suggestions were proposed.

**[Key words]** nuclear power plants; rubber expansion joint; crack

### 引言

橡胶膨胀节也叫可曲挠橡胶接头,是一种柔性连接件,在核电站各系统管道安装运行中起着至关重要的作用。橡胶膨胀节使用过程中,可能因为选型不当、老化、安装维护不当等原因而产生缺陷,导致橡胶膨胀节失效<sup>[1][2]</sup>。国内某核电站换料大修时,检查发现重要厂用水系统(SEC)多个橡胶膨胀节内表面存在裂纹缺陷问题,若裂纹贯穿到橡胶膨胀节的中间层和外层保护层,则管道内介质将从破裂处溢出,影响系统对介质的输送能力,严重时将影响系统的安全稳定运行。本文分析了裂纹产生的原因,并提出后续改进方案,为后续橡胶膨胀节的生产质量控制及运行维护等提供参考,确保相关设备稳定运行。

### 1 系统及设备介绍

SEC系统是一个开式循环系统,流动介质为海水。每台核电机组中,SEC系统由两条与核安全相关的冗余系列(A系列和B系列)组成,每条系列均由两台SEC泵并联从海水过滤系统吸入海水,经SEC管道、贝类捕集器及两台并联的热交换器,将冷却后的

海水排入SEC溢流井,再由排水管道排入大海。SEC系统橡胶膨胀节安装于SEC泵出口母管的管道上,主要功能是承担管道的位移补偿、减少振动、降低噪音等。橡胶膨胀节现场安装及实物如图1及图2所示。



图1 橡胶膨胀节现场安装



图2 橡胶膨胀节实物

裂纹的橡胶膨胀节为国外厂家生产,其设计中间为合成纤维加强层,内外层为橡胶,通过硫化使内外层橡胶和中间纤维加强层粘结到一起。内层橡胶主要起密封及防腐作用,防止工作介质泄漏,并具有一定的耐腐蚀能力,中间纤维加强层主要起承受压力的作用,保障橡胶膨胀节不爆破,外层主要起保护作用,保护橡胶膨胀节不受外部水、灰尘等的侵蚀<sup>[4]</sup>。缺陷的橡胶膨胀节型号是DN700,结构设计由橡胶本体及两端金属压板组成。橡胶膨胀节设计结构如图3所示。

内层主要材料为天然橡胶,其弹性大,伸缩强度高,抗撕裂性和电绝缘性及耐磨性耐旱性能良好,各方面综合性能优于合成橡胶<sup>[3]</sup>,耐海水冲刷和具备防腐功能。中间层主要材料为粘胶纤维,主要提供膨胀节的强度功能,外层主要材料为氯丁橡胶,具有优良抗氧化、抗臭氧性以及耐油、耐酸碱、耐溶剂的特性,最大程度的保障恶劣环境下内层粘胶纤维的可用性。

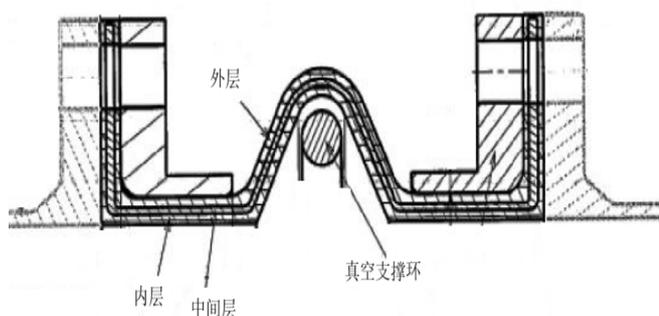


图3 橡胶膨胀节结构

## 2 现场缺陷现象

现场缺陷现象主要是橡胶膨胀节内层裂纹,中间合成纤维层以及外层橡胶无异常,内层裂纹集中出现在内层橡胶层的连接处,裂纹长度3mm-150mm不等,裂纹均是沿圆周方向直线分布,裂纹深度约2mm-3mm。因内层橡胶厚度约4mm-5mm,因此裂纹还未完全贯穿内层橡胶,现场未见工作介质泄漏问题。但如果未及时发现或者处理不及时,则随着裂纹逐渐扩展将会贯穿内层橡胶,一定时间后橡胶膨胀节将可能发生渗漏,且存在爆破的风险。



图4 现场缺陷现象

## 3 原因分析

### 3.1 橡胶膨胀节设计选型分析

橡胶膨胀节的选型主要取决于工作介质、工作压力、工作温度、安装条件、位移补偿量等<sup>[5]</sup>,现场工作介质为海水,工作压力0.27MPa,工作温度6.5-34℃。橡胶膨胀节设计内层橡胶为天然橡胶,耐腐蚀性能优异,适用于海水介质,设计耐压0.9MPa,耐温100℃,可满足现场工作介质、压力及温度的要求。现场管道两端设计为法兰连接,管道法兰间距设计为300mm,橡胶膨胀节两端法兰孔标准与管道法兰保持一致,设计结构长度为300mm,满足现场安装条件的要求。根据管道楼层地震谱、设计压力温度、管道支架布置等设计条件,计算管道运行过程中产生的最大轴向位移为±16mm,橡胶膨胀节设计轴向位移补偿量为±20mm,橡胶膨胀节设计位移满足现场要求。综上,橡胶膨胀节选型符合要求。

### 3.2 加工工艺分析

经与设备制造厂了解,该橡胶膨胀节为手工缠绕式生产工艺,其生产工艺流程如图5所示。内层橡胶、中间层纤维及外层橡胶均为一层一层手工缠绕,具体缠绕的层数根据其耐压等级确定。根据厂家反馈,因该型号橡胶膨胀节拱形较大,其内层橡胶不能完全由一整片橡胶缠绕,橡胶膨胀节拱形部分橡胶需粘贴至直管段一小部分,和直管段橡胶存在搭接。进一步与厂家沟通确认,橡胶膨胀节开裂位置刚好在拱形橡胶与直管段橡胶搭接位置,如图6箭头位置所示。因橡胶膨胀节运行过程中需补偿管道位移而频繁动作,长期运行过程中存在疲劳问题,而橡胶膨胀节内层搭接位置(如图6所示)处于应力集中点,在长期运行后疲劳导致开裂。

因缠绕时的内外层橡胶均为生胶,橡胶膨胀节缠绕完成后还需要进行硫化,生胶硫化后才具有一定的性能。理论上,即使内层橡胶存在搭接问题,硫化后也会完全融合到一起,和整片橡胶缠绕硫化后的性能应无差异。而产生裂纹的橡胶膨胀节的裂纹位置均在搭接位置,分析其搭接位置的橡胶硫化工艺可能存在一定问题。

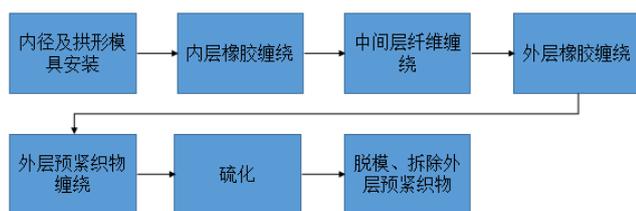


图5 橡胶膨胀节生产工艺流程图

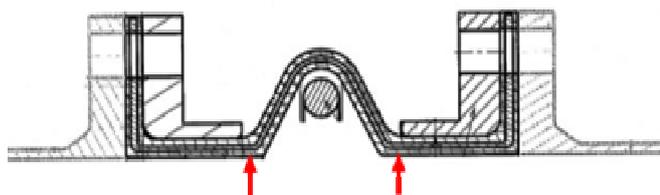


图6 橡胶膨胀节内层开裂位置

### 3.3 运行工况分析

橡胶膨胀节设计轴向最大补偿位移 $\pm 20\text{mm}$ ，经测量，现场膨胀节的最大拉伸位移已超出橡胶膨胀节设计最大补偿位移 $2\sim 3\text{mm}$ 。此种情况产生是因为虽然工程阶段设计橡胶膨胀节管道法兰间距为 $300\text{mm}$ ，但因为工程阶段或后期维护阶段的施工偏差，实际橡胶膨胀节管道法兰间距大于 $300\text{mm}$ ，导致橡胶膨胀节在安装时就已经处于拉伸状态，此种安装状态降低了橡胶膨胀节运行阶段的位移补偿能力，导致橡胶膨胀节超设计位移运行，进一步促成了裂纹的产生。

### 3.4 老化分析

橡胶膨胀节内层为天然橡胶，具有良好的弹性、伸长率、耐腐蚀性，观察内层裂纹橡胶表面及形貌，裂纹较规则，无变硬、龟裂等老化特征。随机选取裂纹位置进行硬度测量，内层橡胶硬度最大值为 $62\text{HA}$ ，未达到厂家维修手册中要求的橡胶膨胀节强制更换的硬度标准 $80\text{HA}$ 。因此，分析橡胶老化不是膨胀节产品裂纹的原因。

### 3.5 分析结论

根据产品设计选型、产品加工工艺、运行工况、老化等方面分析结果，分析导致橡胶膨胀节开裂的根本原因为厂家产品设计存在缺陷，橡胶膨胀节开裂位置内层橡胶存在搭接问题。同时，搭接位置的硫化问题以及部分橡胶膨胀节拉伸量已超过最大允许值，进一步促成了裂纹的产生。

## 4 缺陷处理

### 4.1 原厂家工艺改进

与原国外厂家沟通进行工艺改进，优化橡胶膨胀节设计结构，使内层橡胶完全由一整块橡胶缠绕，避免存在搭接问题，减小应力集中。同时，进一步优化橡胶膨胀节硫化工艺，严格控制橡胶膨胀节硫化时间、温度和压力，确保橡胶性能稳定。

### 4.2 更换其他厂家产品

目前国内外生产橡胶膨胀节的厂家较多，可进一步调研其他厂家产品的设计方案、质量控制、生产工艺、使用经验反馈等，可考虑使用其他厂家产品进行替换。

### 4.3 改进运行工况

针对部分使用位置存在拉伸量已超过最大允许值的情况，可在橡胶膨胀节安装时，在橡胶膨胀节和管道法兰之间增加金属补偿环，减小现场管道运行时产生的拉伸位移，此种安装方法已在核电、石油化工等多种生产领域成熟应用。或者可选用设计补偿位移更大的橡胶膨胀节进行替换，确保能够满足现场管道运行时产生的最大位移值。

## 5 总结

综上所述，本文对核电厂重要厂用水系统橡胶膨胀节裂纹原因进行分析，并在此基础上提出了改进方法，为相关领域的设备运行维护提供参考，确保设备安全稳定运行。

### [参考文献]

- [1]王力,张玲.橡胶膨胀节开裂原因分析[J].理化检验,2013,49(8):538-545.
- [2]邵家泉,董玉领.柴油机橡胶膨胀节破裂失效分析[J].产业与科技论坛,2022,21(19):44-46.
- [3]张玉龙,孙敏.橡胶品种与性能手册[M].2版.北京:化学工业出版社,2012.
- [4]纪志远.浅谈橡胶膨胀节[J].石油和化工设备,2017,20(11):52-55.
- [5]方运富.关键管线中膨胀节的选用及应力分析[J].石油化工设计,2002,19(4):46-48.

### 作者简介:

谢俊(1986—),男,汉族,安徽省临泉县人,硕士研究生,工程师,备件管理。